




全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 无机及分析化学

王仁国 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 无机及分析化学

王仁国 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无机及分析化学/王仁国主编. —北京: 中国农业出版社, 2006. 8

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 7-109-10605-5

I. 无... II. 王... III. ①无机化学-高等学校-教材  
②分析化学-高等学校-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 093990 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 曾丹霞

---

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行  
2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

---

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 27.75 插页: 1

字数: 657 千字

定价: 39.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 前 言

本书是为高等农林院校大一学生无机及分析化学课程而编写的一本化学基础类教材。遵循全国高等农林院校“十一五”规划教材的编写要求，以教育部制定的普通高等学校无机及分析化学的教学大纲为依据，并结合高等农林院校学生的培养目的和实际，顺应教学改革形势的需要，本着“宽口径、厚基础”的培养人才的目标，因材施教，有的放矢，不刻意追求体系的系统化，内容上精简经典，简介前沿。够用、实用、贴近生物科学的实际是本书编写的宗旨。

化学是一门中心科学，它对其他学科的深入发展，犹如空气和水对于人类一样必不可缺。科学技术的进步，学科之间的相互渗透和相互交融已是不争的事实，传统的无机化学与分析化学合二为一，避免了不必要的重复，体现了优化组合、节约学时的优点。本书在四大平衡（酸碱电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡）各章后紧跟对应的滴定的章节，内容有机衔接，便于教学。

本书编者在参考了国内外教材的基础上，力求概念表述准确，内容深入浅出，简明扼要，与时俱进，有所创新，主要表现在以下几点：

(1) 为避免在标准平衡常数的表达式中繁冗的标准浓度  $c^\ominus$  的出现，又不失其严谨性，我们用相对浓度  $c_r$  代替  $c/c^\ominus$ ，平衡时浓度用方括号 “[ ]” 表示，相对平衡浓度用 “[ ]<sub>r</sub>” 代替 “[ ]/ $c^\ominus$ ”。

(2) 由于大一学生刚刚跨入大学校门，在此适应性的过渡教学期间，为有利于学生掌握繁多的课程内容，本书在每章末均提纲挈领地进行了小结，以期达到要求明确、重点突出的目的。另外，习题的解答是加深学生对授课内容知识的掌握和运用必不可缺的重要手段之一，因此编者对每章的思考题和习题本着贴近实际、以基本为主、循序渐进的原则进行了精选，其中习题附有参考答案，使学生能及时判断正误。

(3) 化学是一门实验科学，在无机及分析化学的教学中，分析部分是实践性强、实用性高的内容，在实验中进行讲授，可达到事半功倍的效果，因此，课程中遵循少讲多练的原则来进行内容处理。由于有些专业对课程内容的要求不尽相同，本书

凡带“\*”的小字体者，教师讲授时可根据需要取舍。

(4) 能源危机并非危言耸听，当今世界已探明化石燃料石油贮量仅能满足几十年的需求而即将告罄。其他天然气、煤炭也仅够维持一两百年的光景。寻求新能源是当前的热点，其中核能的开发和利用正在我国积极地进行，因此本教材特增加了原子核化学简介一章以适应社会的发展和要求。

(5) “他山之石，可以攻玉”，为借鉴别人的先进经验，为我所用，本教材尽抛砖引玉之力，在有关章节选编了一些著名化学家的英文小传，在“化学之窗”栏目中推出了与生命科学有关的化学英文阅读材料，以期能提高学生的英文阅读能力。

本教材采用国际单位制(SI)单位和IUPAC(国际纯粹与应用化学联合会)推荐使用的符号。

全书共分十八章，由上海水产大学、河北农业大学水产学院、莱阳农学院和四川农业大学等四所兄弟院校共同编写。编写人员为：周冬香(第十四、十五章)、徐春霞(第五、八、九章)、刘希光(第一章)、宋祖伟(第十八章)、游承干(第三章)、赵茂俊(第四章第四至八节、第十二章)、张利(第四章第一至三节、第十章)、吴明君(第十一、十六章)、陈华萍(第十三章)、姜李(第六章)、崔扬健(第七章)、王仁国(第二、十七章)。全书由王仁国、游承干、赵茂俊统稿。

自确定编写大纲以来，承蒙各兄弟院校的鼎力相助，各参编老师的戮力同心，才使编写工作顺利完成。在编写过程中，四川大学胡长伟教授提出了许多宝贵意见，四川农业大学无机化学教研室的教师代先祥、陈丁龙、张云松、赵颖、王显祥等在校对稿件、习题解答方面做了大量的工作，借此机会特表鸣谢。

由于时间仓促，学术水平有限，挂一漏万以及错误之处在所难免，敬请读者不吝赐教，幸甚。

编者

2006. 6

# 目 录

前言

第一章 分散体系	1
第一节 溶液	2
一、物质的量及其单位	2
二、物质的量浓度	3
三、质量摩尔浓度	4
四、摩尔分数	4
五、质量分数	4
六、几种溶液浓度度量方法之间的关系	5
第二节 稀溶液的依数性	6
一、溶液的蒸气压下降	6
二、溶液的沸点上升和凝固点下降	9
三、溶液的渗透压	11
* 四、电解质溶液的依数性	13
第三节 胶体溶液	15
一、分散度与界面吸附	16
二、溶胶的性质	18
三、溶胶粒子带电的原因	20
四、胶团结构	20
五、溶胶的稳定性和凝结	21
第四节 高分子溶液和乳浊液	23
一、高分子溶液	23
二、表面活性物质	24
三、乳浊液	25
◆ 本章小结	26
著名化学家小传	26
化学之窗	27
◆ 思考题	27
◆ 习题	28

第二章 化学热力学基础 .....	30
第一节 基本概念 .....	30
一、几种热力学体系 .....	30
二、状态和状态函数 .....	31
三、过程与途径 .....	31
四、热和功 .....	32
五、热力学能 .....	32
第二节 化学反应的热效应 .....	33
一、热力学第一定律和等容反应热 .....	33
二、等压反应热和焓 .....	34
三、反应进度 .....	35
* 四、等容反应热与等压反应热的关系 .....	35
第三节 标准反应热 .....	36
一、热化学方程式 .....	37
二、热化学定律(盖斯定律) .....	37
三、标准反应热的计算 .....	38
* 四、反应热的应用 .....	42
第四节 化学反应的自发性和熵 .....	43
一、化学反应的自发性 .....	43
二、熵判据 .....	44
三、自由能判据 .....	44
第五节 化学反应标准熵变的计算 .....	46
一、物质的标准熵 .....	46
二、化学反应熵变的计算 .....	47
第六节 化学反应标准自由能变的计算 .....	48
一、从反应的 $\Delta_r H_m^\ominus$ 和 $\Delta_r S_m^\ominus$ 计算 .....	48
二、从若干已知反应的 $\Delta_r G_m^\ominus$ 计算 .....	48
三、从标准摩尔生成自由能 $\Delta_f G_m^\ominus$ 计算 .....	48
* 四、生化反应的自由能变 .....	49
◆ 本章小结 .....	50
著名化学家小传 .....	51
化学之窗 .....	51
◆ 思考题 .....	52
◆ 习题 .....	52

<b>第三章 化学反应速率和化学平衡</b> .....	55
<b>第一节 化学反应速率的表示方法和反应机理</b> .....	55
一、化学反应速率的表示方法 .....	55
二、反应机理 .....	56
<b>第二节 化学反应速率理论</b> .....	57
一、碰撞理论 .....	57
* 二、过渡态理论简介 .....	58
<b>第三节 浓度对化学反应速率的影响</b> .....	59
一、质量作用定律 .....	59
二、反应级数 .....	61
三、一级反应速率方程的积分式 .....	62
<b>第四节 温度对化学反应速率的影响</b> .....	63
<b>第五节 催化剂对化学反应速率的影响</b> .....	65
一、催化剂和催化作用 .....	65
二、催化剂的特性 .....	65
三、均相催化和多相催化 .....	66
四、酶催化 .....	67
<b>第六节 可逆反应与化学平衡</b> .....	68
一、分压定律 .....	68
二、可逆反应与化学平衡 .....	69
三、平衡常数 .....	70
四、化学反应等温方程式 .....	74
<b>第七节 化学平衡的移动</b> .....	77
一、浓度对平衡的影响 .....	77
二、压力对平衡的影响 .....	78
三、温度对平衡的影响 .....	80
<b>第八节 生物化学标准平衡常数</b> .....	81
◆ 本章小结 .....	82
著名化学家小传 .....	83
化学之窗 .....	83
◆ 思考题 .....	84
◆ 习题 .....	84
<b>第四章 物质结构</b> .....	87
<b>第一节 核外电子运动的状态</b> .....	87



一、氢原子光谱 .....	87
二、玻尔理论 .....	88
三、电子的波粒二象性 .....	89
四、测不准原理 .....	90
五、薛定谔方程 .....	90
六、波函数 .....	91
第二节 核外电子运动状态的描述 .....	95
一、四个量子数 .....	95
二、核外电子的排布规律 .....	97
三、多电子原子轨道近似能级图 .....	98
第三节 原子电子层结构和元素周期系 .....	99
一、原子核外电子的排布 .....	99
二、原子的电子层结构与元素周期表 .....	101
三、元素基本性质的周期性 .....	102
第四节 离子化合物 .....	108
一、离子键的形成和性质 .....	108
二、离子的结构 .....	109
三、晶格能 .....	111
第五节 共价化合物 .....	111
一、共价键的形成与本质 .....	111
二、价键理论 (VB法) 基本要点 .....	112
三、共价键的类型 .....	113
四、键参数 .....	113
第六节 杂化轨道理论 .....	114
一、杂化轨道理论的基本要点 .....	114
二、杂化轨道类型与分子空间构型 .....	115
第七节 分子的极性、分子间作用力和氢键 .....	119
一、分子的极性 .....	119
二、分子的变形性 .....	119
三、分子间力 .....	120
四、氢键 .....	122
第八节 晶体结构简介 .....	125
一、离子晶体 .....	125
二、原子晶体 .....	126
三、分子晶体 .....	126
四、金属晶体 .....	126
◆ 本章小结 .....	128

著名化学家小传 .....	128
化学之窗 .....	129
◆ 思考题 .....	129
◆ 习题 .....	130
<b>第五章 分析化学概述</b> .....	<b>132</b>
第一节 分析化学概述 .....	132
一、分析化学的任务和作用 .....	132
二、分析方法的分类 .....	132
三、定量分析的一般程序 .....	133
第二节 定量分析的误差 .....	135
一、误差的类别 .....	135
二、准确度和精密度 .....	136
三、提高分析结果准确度的方法 .....	139
第三节 分析数据的处理 .....	139
一、置信度和平均值的置信区间 .....	139
二、可疑数据的取舍 .....	141
三、有效数字及运算规则 .....	142
第四节 滴定分析法 .....	144
一、滴定分析的基本概念 .....	144
二、滴定分析的分类 .....	144
三、滴定分析的标准溶液 .....	146
四、滴定分析的计算 .....	147
◆ 本章小结 .....	148
◆ 思考题 .....	148
◆ 习题 .....	149
<b>第六章 酸碱平衡</b> .....	<b>150</b>
第一节 酸碱质子理论 .....	150
一、酸碱定义 .....	150
二、酸碱反应 .....	151
三、水的质子自递反应 .....	151
四、酸碱的强弱 .....	152
五、共轭酸碱对 $K_a^\ominus$ 和 $K_b^\ominus$ 的关系 .....	152
第二节 酸碱平衡的移动 .....	153
一、稀释定律 .....	153

二、同离子效应和盐效应 .....	154
第三节 酸碱平衡中有关浓度的计算 .....	155
一、水溶液的 pH .....	155
二、酸碱溶液 pH 的计算 .....	156
三、酸度对弱酸(碱)型体分布的影响 .....	158
第四节 缓冲溶液 .....	161
一、缓冲溶液的缓冲原理 .....	161
二、缓冲溶液 pH 的计算 .....	161
三、缓冲容量和缓冲范围 .....	162
四、缓冲溶液的选择与配制 .....	163
五、缓冲溶液的应用 .....	164
◆ 本章小结 .....	165
著名化学家小传 .....	165
化学之窗 .....	165
◆ 思考题 .....	165
◆ 习题 .....	166
<b>第七章 酸碱滴定法</b> .....	<b>167</b>
第一节 酸碱指示剂 .....	167
一、酸碱指示剂的变色原理 .....	167
二、指示剂的变色点和变色范围 .....	168
三、影响酸碱指示剂变色范围的因素 .....	169
四、混合指示剂 .....	169
第二节 酸碱滴定曲线和指示剂的选择 .....	171
一、强碱滴定强酸 .....	171
二、强碱(酸)对一元弱酸(碱)的滴定 .....	173
三、多元酸(碱)的滴定 .....	175
四、酸碱滴定中 $\text{CO}_2$ 的影响 .....	177
第三节 酸碱滴定法的应用 .....	178
一、直接滴定法示例 .....	178
二、间接滴定法示例 .....	179
◆ 本章小结 .....	180
化学之窗 .....	181
◆ 思考题 .....	182
◆ 习题 .....	182

<b>第八章 沉淀溶解平衡</b> .....	184
<b>第一节 难溶化合物的溶度积</b> .....	184
一、沉淀溶解平衡和溶度积常数 .....	184
二、溶度积与溶解度的关系 .....	185
三、溶度积规则 .....	186
四、影响沉淀溶解平衡的因素 .....	186
<b>第二节 沉淀的生成和溶解</b> .....	187
一、沉淀的生成 .....	187
二、分步沉淀 .....	188
三、沉淀的溶解 .....	190
四、沉淀的转化 .....	190
◆ <b>本章小结</b> .....	191
化学之窗 .....	192
◆ <b>思考题</b> .....	192
◆ <b>习题</b> .....	193
<b>第九章 重量分析法和沉淀滴定法</b> .....	194
<b>第一节 重量分析法</b> .....	194
一、重量分析法的基本过程与特点 .....	194
二、沉淀的形成过程 .....	195
三、晶形沉淀条件的选择 .....	196
四、沉淀的净化 .....	196
五、重量分析法的计算 .....	198
<b>第二节 沉淀滴定法</b> .....	199
一、概述 .....	199
二、银量法 .....	199
◆ <b>本章小结</b> .....	202
◆ <b>思考题</b> .....	202
◆ <b>习题</b> .....	203
<b>第十章 配位化合物</b> .....	204
<b>第一节 配位化合物的基本概念</b> .....	204
一、配位化合物的定义及其组成 .....	204
二、配位化合物的命名 .....	207
<b>第二节 配位化合物的价键理论</b> .....	208

一、价键理论的基本要点 .....	208
二、配位化合物的形成与立体构型 .....	209
三、外轨型配合物和内轨型配合物 .....	212
第三节 配位平衡 .....	214
一、配离子的稳定常数 .....	214
二、配位平衡的计算 .....	216
三、配位平衡的移动 .....	217
第四节 螯合物 .....	222
一、螯合物的形成 .....	222
二、螯合物的稳定性 .....	223
◆本章小结 .....	223
著名化学家小传 .....	224
化学之窗 .....	224
◆思考题 .....	225
◆习题 .....	226
第十一章 配位滴定法 .....	228
第一节 概述 .....	228
一、配位滴定中的配合物 .....	228
二、EDTA 的性质 .....	228
三、EDTA 的螯合物的特点 .....	229
第二节 影响 EDTA 配合物稳定性的因素 .....	230
一、主反应与副反应 .....	230
二、副反应系数 .....	230
三、条件稳定常数 .....	232
第三节 配位滴定法的基本原理 .....	234
一、滴定曲线 .....	234
二、影响滴定突跃的主要因素 .....	235
第四节 金属指示剂 .....	236
一、金属指示剂的原理 .....	236
二、金属指示剂应具备的条件 .....	236
三、常见的金属指示剂 .....	236
四、使用金属指示剂应注意的问题 .....	237
五、单一离子配位滴定可行性的判断 .....	238
第五节 提高配位滴定选择性的方法 .....	238
一、控制酸度 .....	238

二、混合离子选择性滴定可行性的判断 .....	240
三、提高配位滴定选择性的方法 .....	240
第六节 配位滴定方式与应用 .....	241
◆ 本章小结 .....	242
◆ 思考题 .....	242
◆ 习题 .....	243
<b>第十二章 氧化还原反应</b> .....	<b>245</b>
第一节 基本概念 .....	245
一、氧化数 .....	245
二、氧化剂和还原剂 .....	246
三、氧化还原电对 .....	247
第二节 氧化还原方程式的配平 .....	248
一、氧化数法 .....	248
二、离子—电子法(半反应法) .....	249
第三节 原电池和电极电势 .....	251
一、原电池 .....	251
二、电极的种类 .....	252
三、电极电势 .....	253
第四节 原电池电动势和自由能变化的关系 .....	257
第五节 影响电极电势的因素 .....	258
一、能斯特方程 .....	258
二、浓度对电极电势的影响 .....	259
第六节 电极电势的应用 .....	262
一、判断氧化还原反应的方向 .....	262
二、确定氧化还原反应进行的程度 .....	264
三、选择适当的氧化剂和还原剂 .....	265
四、测定溶液 pH 及物质的某些平衡常数 .....	265
第七节 元素电势图及其应用 .....	266
一、元素的标准电势图 .....	267
二、元素电势图的应用 .....	267
◆ 本章小结 .....	269
著名化学家小传 .....	269
化学之窗 .....	270
◆ 思考题 .....	271
◆ 习题 .....	271

<b>第十三章 氧化还原滴定法</b> .....	274
<b>第一节 条件电极电势</b> .....	274
<b>第二节 氧化还原反应滴定</b> .....	275
一、氧化还原反应的条件平衡常数 .....	275
二、滴定反应定量进行的条件 .....	276
三、氧化还原滴定曲线 .....	276
四、氧化还原滴定曲线的影响因素 .....	279
<b>第三节 氧化还原滴定法的指示剂</b> .....	280
一、氧化还原指示剂 .....	280
二、自身指示剂 .....	282
三、专属指示剂 .....	282
<b>第四节 氧化还原滴定前的预处理</b> .....	282
一、进行预处理的必要性 .....	282
二、预处理中氧化剂或还原剂的选择 .....	282
三、预处理中常用的氧化剂与还原剂 .....	283
四、预处理实例 .....	284
<b>第五节 常用氧化还原滴定法</b> .....	284
一、高锰酸钾法 .....	284
二、重铬酸钾法 .....	288
三、碘量法 .....	290
◆ <b>本章小结</b> .....	294
化学之窗 .....	295
◆ <b>思考题</b> .....	295
◆ <b>习题</b> .....	295
<b>第十四章 电势分析法</b> .....	297
<b>第一节 电势分析法概述</b> .....	297
一、电势分析法的原理 .....	297
二、电势分析法的特点 .....	298
三、参比电极 .....	298
四、指示电极 .....	300
五、离子选择性电极的选择性 .....	304
<b>第二节 电势分析法的应用</b> .....	305
一、pH 的测定 .....	305
二、离子活(浓)度的测定 .....	306

三、电势滴定法 .....	308
◆ 本章小结 .....	310
◆ 思考题 .....	311
◆ 习题 .....	311
<b>第十五章 吸光光度分析法</b> .....	<b>313</b>
<b>第一节 吸光光度法概述</b> .....	<b>313</b>
一、光的基本性质 .....	313
二、物质对光的选择性吸收 .....	314
三、吸收曲线 .....	315
四、吸光光度法的特点 .....	316
<b>第二节 光吸收定律</b> .....	<b>316</b>
一、光吸收定律——朗伯-比尔定律 .....	316
二、对朗伯-比尔定律的偏离 .....	317
<b>第三节 分光光度计</b> .....	<b>318</b>
一、分光光度计的基本结构 .....	318
二、分光光度计的类型 .....	320
<b>第四节 显色反应和显色条件的选择</b> .....	<b>321</b>
一、显色反应的选择 .....	321
二、显色条件的选择 .....	322
<b>第五节 吸光度测量条件的选择</b> .....	<b>324</b>
一、入射光波长的选择 .....	324
二、参比溶液的选择 .....	324
三、吸光度读数范围的选择 .....	325
<b>第六节 吸光光度法的应用</b> .....	<b>326</b>
一、单一组分的测定 .....	326
二、高含量组分的测定——示差法 .....	327
三、多组分的分析 .....	327
◆ 本章小结 .....	328
化学之窗 .....	329
◆ 思考题 .....	329
◆ 习题 .....	330
<b>第十六章 试样分析中常用的分离方法简介</b> .....	<b>331</b>
<b>第一节 沉淀分离法</b> .....	<b>331</b>
一、沉淀分离法对沉淀反应的要求与特点 .....	331



二、利用无机沉淀剂沉淀分离 .....	332
三、利用有机沉淀剂进行分离 .....	333
四、共沉淀分离 .....	334
第二节 离子交换分离法 .....	335
一、离子交换树脂 .....	335
二、离子交换树脂的特性常数 .....	336
三、离子交换树脂对离子的选择顺序 .....	337
四、离子交换的预处理及分离操作 .....	337
五、应用示例 .....	339
第三节 溶剂萃取分离法 .....	340
一、基本概念 .....	340
二、萃取过程 .....	342
三、重要的萃取类型 .....	342
第四节 色谱分离法 .....	343
一、气相色谱法 .....	344
二、液相色谱法 .....	344
三、纸色谱法 .....	345
四、薄层色谱法 .....	346
◆ 本章小结 .....	346
化学之窗 .....	346
◆ 思考题 .....	347
◆ 习题 .....	347
<b>第十七章 重要生命元素简述 .....</b>	<b>349</b>
第一节 主族金属元素选述 .....	350
一、单质的性质 .....	350
二、重要化合物的性质 .....	351
第二节 部分主族金属元素在生物界的作用 .....	353
一、钾、钠、钙、镁的生物功能 .....	353
二、铝、锡、铅的生物功能 .....	355
第三节 非金属元素选述 .....	355
一、单质的物理性质 .....	355
二、单质的化学性质 .....	355
三、氢化物 .....	357
四、重要的含氧酸及其盐 .....	359
第四节 部分非金属元素在生物界的作用 .....	364